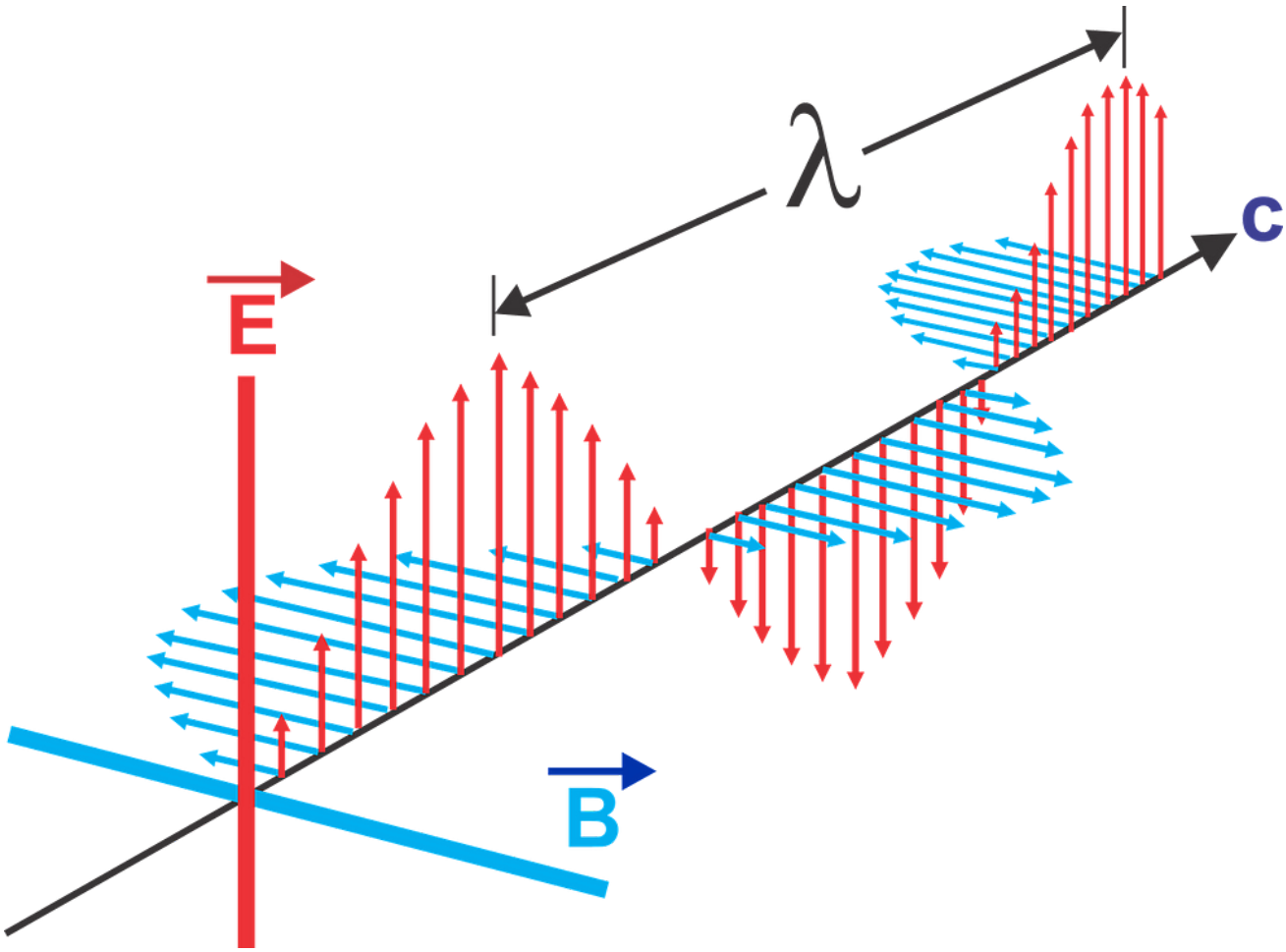
Ondas Electromagnéticas

Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o incluso en el vacío.



Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o incluso en el vacío. A pesar de la naturaleza diversa de las perturbaciones que pueden originarlas, todas las ondas tienen un comportamiento semejante. El sonido es un tipo de onda que se propaga únicamente en presencia de un medio que haga de soporte de la perturbación. Los conceptos generales sobre ondas sirven para describir el sonido, pero, inversamente, los fenómenos sonoros permiten comprender mejor algunas de las características del comportamiento ondulatorio.

Los jugadores de dominó, como distracción complementaria, colocan las fichas del juego en posición vertical, una al lado de otra, a una distancia inferior a la longitud de las fichas, formando una hilera. Cuando se le da un impulso a la ficha situada en uno de los extremos, se inicia una acción en cadena; cada ficha transmite a su vecina el impulso recibido, el cual se propaga desde un extremo a otro a lo largo de toda la hilera. En términos físicos, podría decirse que una onda se ha propagado a través de las fichas de dominó. La idea de onda corresponde en la física a la de una perturbación local de cualquier naturaleza que avanza o se propaga a través de un medio material o incluso en el vacío.

Algunas clases de ondas precisan para propagarse de la existencia de un medio material que, al igual que las fichas de dominó, haga el papel de soporte de la perturbación; se denominan genéricamente ondas mecánicas. El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua, las ondas en muelles o en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas y corresponden a compresiones, deformaciones y, en general, a perturbaciones del medio que se propagan a través de este. Sin embargo, existen ondas que pueden propasarse aún en ausencia de medio material, es decir, en el vacío. Son las ondas o campos electromagnéticos viajeros; a esta segunda categoría pertenecen las ondas luminosas.

Independientemente de esta diferenciación, existen ciertas características que son comunes a todas las ondas, cualquiera que sea su naturaleza, y que en conjunto definen el llamado comportamiento ondulatorio, esto es, una serie de fenómenos típicos que diferencian dicho comportamiento del comportamiento propio de los corpúsculos o partículas.

Movimiento ondulatorio:

Proceso por el que se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas mecánicas o electromagnéticas. En cualquier punto de la trayectoria de propagación se produce un desplazamiento periódico, u oscilación, alrededor de una posición de equilibrio. Puede ser una oscilación de moléculas de aire, como en el caso del sonido que viaja por la atmósfera, de moléculas de agua (como en las olas que se forman en la superficie del mar) o de porciones de una cuerda o un resorte. En todos estos casos, las partículas oscilan en torno a su posición de equilibrio y sólo la energía avanza de forma continua. Estas ondas se denominan mecánicas porque la energía se transmite a través de un medio material, sin ningún movimiento global del propio medio. Las únicas ondas que no requieren un medio material para su propagación son las ondas electromagnéticas; en ese caso, las oscilaciones corresponden a variaciones en la intensidad de campos magnéticos y eléctricos.

Tipos de movimiento ondulatorio:

Las ondas son una perturbación periódica del medio en que se mueven. En las ondas longitudinales, el medio se desplaza en la dirección de propagación. Por ejemplo, el aire se comprime y expande en la misma dirección en que avanza el sonido. En las ondas transversales, el medio se desplaza en ángulo recto a la dirección de propagación. Por ejemplo, las ondas en un estanque avanzan horizontalmente, pero el agua se desplaza verticalmente. Los terremotos generan ondas de los dos tipos, que avanzan a distintas velocidades y con distintas trayectorias. Estas diferencias permiten determinar el epicentro del sismo. Las partículas atómicas y la luz pueden describirse mediante ondas de probabilidad, que en ciertos aspectos se comportan como las ondas de un estanque.

Oscilación:

En física, química e ingeniería, movimiento repetido de un lado a otro en torno a una posición central, o posición de equilibrio. El recorrido consiste en ir desde una posición extrema a la otra y volver a la primera, pasando dos veces por la posición central; se denomina ciclo. El número de ciclos por segundo, o hercios (Hz), se conoce como frecuencia de la oscilación.

Cuando se pone en movimiento un péndulo o se puntea la cuerda de una guitarra, el péndulo y la cuerda acaban deteniéndose si no actúan sobre ellos otras fuerzas. La fuerza que hace que dejen de oscilar se denomina amortiguadora. Con frecuencia, estas fuerzas son fuerzas de rozamiento, pero en un sistema oscilante pueden existir otras fuerzas amortiguadoras, por ejemplo, eléctricas o magnéticas.

Frecuencia natural:

Cualquier objeto oscilante tiene una 'frecuencia natural', que es la frecuencia con la que tiende a vibrar si no se le perturba. Por ejemplo, la frecuencia natural de un péndulo de 1 m de longitud es de 0,5 Hz, lo que significa que el péndulo va y vuelve una vez cada 2 segundos. Si se le da un ligero impulso al péndulo cada 2 segundos, la amplitud de la oscilación aumenta gradualmente hasta hacerse muy grande. El fenómeno por el que una fuerza relativamente pequeña aplicada de forma repetida hace que la amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande se denomina resonancia. Muchos problemas graves de vibración en ingeniería son debidos a la resonancia. Por ejemplo, si la frecuencia natural de la carrocería de un automóvil es la misma que el ritmo del motor cuando gira a una velocidad determinada, la carrocería puede empezar a vibrar o a dar fuertes sacudidas. Esta vibración puede evitarse al montar el motor sobre un material amortiguador, por ejemplo, hule o goma, para aislarlo de la carrocería.

Flameo:

Un tipo peligroso de vibración es la oscilación repentina y violenta, conocida como flameo. Este fenómeno se produce sobre todo en las superficies de control de los aviones, pero también ocurre en los cables eléctricos cubiertos de escarcha cuando la velocidad del viento es elevada. Uno de los casos de flameo más espectaculares provocó en 1940 el hundimiento de un puente en Tacoma, Estados Unidos. La causa fue un viento huracanado cuya velocidad potenció la vibración del puente. En el flameo, la amplitud de vibración de una estructura puede aumentar tan rápidamente como para que esta se desintegre casi de forma instantánea. Por eso, impedir el flameo es muy importante a la hora de diseñar puentes y aviones. En el caso de los aviones, el análisis de flameo suele complementarse con pruebas realizadas con una maqueta del avión en un túnel aerodinámico.

Sonido:

fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios llega al oído interno. El hercio (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire, y a veces se restringe el término 'sonido' a la transmisión en este medio. Sin embargo, en la física moderna se suele extender el término a vibraciones similares en medios líquidos o sólidos. Los sonidos con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz se denominan ultrasonidos.

Características físicas:

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: el tono, la intensidad y el timbre. Estas

características corresponden exactamente a tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.

Las ondas sonoras constituyen un tipo de ondas mecánicas que tienen la virtud de estimular el oído humano y generar la sensación sonora. En el estudio del sonido se deben distinguir los aspectos físicos de los aspectos fisiológicos relacionados con la audición. Desde un punto de vista físico, el sonido comparte todas las propiedades características del comportamiento ondulatorio, por lo que puede ser descrito utilizando los conceptos sobre ondas. A su vez, el estudio del sonido sirve para mejorar la comprensión de algunos fenómenos típicos de las ondas. Desde un punto de vista fisiológico, sólo existe sonido cuando un oído es capaz de percibirlo.

El sonido y su propagación

Las ondas que se propagan a lo largo de un muelle como consecuencia de una compresión longitudinal del mismo constituyen un modelo de ondas mecánicas que se asemeja bastante a la forma en la que el sonido se genera y se propaga. Las ondas sonoras se producen también como consecuencia de una compresión del medio a lo largo de la dirección de propagación. Son, por tanto, ondas longitudinales. Si un globo se conecta a un pistón capaz de realizar un movimiento alternativo mediante el cual inyecta aire al globo y lo toma de nuevo, aquel sufrirá una secuencia de operaciones de inflado y desinflado, con lo cual la presión del aire contenido dentro del globo aumentará y disminuirá sucesivamente. Esta serie de compresiones y encarecimientos alternativos llevan consigo una aportación de energía, a intervalos, del foco al medio y generan ondas sonoras. La campana de un timbre vibra al ser golpeada por su correspondiente martillo, lo que da lugar a compresiones sucesivas del medio que la rodea, las cuales se propagan en forma de ondas. Un diapasón, la cuerda de una guitarra o la de un violín producen sonido según un mecanismo análogo.

En todo tipo de ondas mecánicas, el medio juega un papel esencial en la propagación de la perturbación, hasta el punto de que, en ausencia de medio material, la vibración, al no tener por dónde propasarse, no da lugar a la formación de la onda correspondiente. La velocidad de propagación del sonido depende de las características del medio. En el caso de medios gaseosos, como el aire, las vibraciones son transmitidas de un punto a otro a través de choques entre las partículas que constituyen el gas, de ahí que cuanto mayor sea la densidad de este, mayor será la velocidad de la onda sonora correspondiente. En los medios sólidos, son las fuerzas que unen entre sí las partículas constitutivas del cuerpo las que se encargan de propagar la perturbación de un punto a otro. Este procedimiento más directo explica por qué la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los gases.

Sonido físico y sensación sonora:

No todas las ondas sonoras pueden ser percibidas por el oído humano, el cual es sensible únicamente a aquellas cuya frecuencia está comprendida entre los 20 y los 20 000 Hz. En el aire dichos valores extremos corresponden a longitudes de onda que van desde 16 metros

hasta 1,6 centímetros respectivamente. En general se trata de ondas de pequeña amplitud. Cuando una onda sonora de tales características alcanza la membrana sensible del tímpano, produce en él vibraciones que son transmitidas por la cadena de huesillos hasta la base de otra membrana situada en la llamada ventana oval, ventana localizada en la cóclea o caracol. El hecho de que la ventana oval sea de 20 a 30 veces más pequeña que el tímpano da lugar a una amplificación que llega a aumentar entre 40 y 90 veces la presión de la onda que alcanza al tímpano. Esta onda de presión se propaga dentro del caracol a través de un líquido viscoso hasta alcanzar otra membrana conectada a un sistema de fibras fijas por sus extremos a modo de cuerdas de arpa, cuyas deformaciones elásticas estimulan las terminaciones de los nervios auditivos. Las señales de naturaleza eléctrica generadas de este modo son enviadas al cerebro y se convierten en sensación sonora. Mediante este proceso el sonido físico es convertido en sonido fisiológico.

Tipos de olas:

Las ondas se clasifican según la dirección de los desplazamientos de las partículas en relación con la dirección del movimiento de la propia onda. Si la vibración es paralela a la dirección de propagación de la onda, la onda se denomina longitudinal. Una onda longitudinal siempre es mecánica y se debe a las sucesivas compresiones (estados de máxima densidad y presión) y enrarecimientos (estados de mínima densidad y presión) del medio. Las ondas sonoras son un ejemplo típico de esta forma de movimiento ondulatorio. Otro tipo de onda es la onda transversal, en la que las vibraciones son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Las ondas transversales pueden ser mecánicas, como las ondas que se propagan a lo largo de una cuerda tensa cuando se produce una perturbación en uno de sus extremos, o electromagnéticas, como la luz, los rayos X o las ondas de radio. En esos casos, las direcciones de los campos eléctrico y magnético son perpendiculares a la dirección de propagación. Algunos movimientos ondulatorios mecánicos, como las olas superficiales de los líquidos, son combinaciones de movimientos longitudinales y transversales, con lo que las partículas de líquido se mueven de forma circular.

En una onda transversal, la longitud de onda es la distancia entre dos crestas o valles sucesivos. En una onda longitudinal, corresponde a la distancia entre dos compresiones o entre dos enrarecimientos sucesivos. La frecuencia de una onda es el número de vibraciones por segundo. La velocidad de propagación de la onda es igual a su longitud de onda multiplicada por su frecuencia. En el caso de una onda mecánica, su amplitud es el máximo desplazamiento de las partículas que vibran. En una onda electromagnética, su amplitud es la intensidad máxima del campo eléctrico o del campo magnético.

En relación con su ámbito de propagación, las ondas pueden clasificarse en:

Monodimensionales: Son aquellas que, como las ondas en los muelles o en las cuerdas, se propagan a lo largo de una sola dirección del espacio.

Bidimensionales: Se propagan en cualquiera de las direcciones de un plano de una superficie. Se denominan también ondas superficiales y a este grupo pertenecen las ondas que se producen en la superficie de un lago cuando se deja caer una piedra sobre él.

Atendiendo a la periodicidad de la perturbación local que las origina, las ondas se clasifican en:

Periódicas: Corresponden a la propagación de perturbaciones de características periódicas, como vibraciones u oscilaciones que suponen variaciones repetitivas de alguna propiedad. Así, en una cuerda unida por uno de sus extremos a un vibrador se propagará una onda periódica.

No periódicas: La perturbación que las origina se da aisladamente y en el caso de que se repita, las perturbaciones sucesivas tienen características diferentes. Las ondas aisladas, como en el caso de las fichas de dominó, se denominan también pulsos.

Según que la dirección de propagación coincida o no con la dirección en la que se produce la perturbación, las ondas pueden ser:

Longitudinales: El movimiento local del medio alcanzado por la perturbación se efectúa en la dirección de avance de la onda. Un muelle que se comprime da lugar a una onda longitudinal.

Transversales: La perturbación del medio se lleva a cabo en dirección perpendicular a la de propagación. En las ondas producidas en la superficie del agua las partículas vibran de arriba a abajo y viceversa, mientras que el movimiento ondulatorio progresa en el plano perpendicular. Lo mismo sucede en el caso de una cuerda; cada punto vibra en vertical, pero la perturbación avanza según la dirección de la línea horizontal. Ambas son ondas transversales.

Ondas gravitacionales: perturbaciones en el espacio-tiempo que, según se cree, se difunden a la velocidad de la luz desde los lugares donde se acelera rápidamente una masa. Entre las posibles fuentes de estas ondas están las siguientes: las explosiones violentas de supernovas, que van acompañadas del colapso de los núcleos estelares y la posterior formación de estrellas de neutrones o agujeros negros; la interacción de agujeros negros; los púlsares (estrellas de neutrones en rotación), y los sistemas binarios de estrellas de neutrones, cuando sus dos componentes se funden en uno solo y mueren. La existencia de ondas gravitacionales fue prevista en la teoría de la relatividad general de Einstein, pero aún no se han detectado estas ondas de forma directa. Sin embargo, se han encontrado pruebas indirectas de su existencia. Las ondas gravitacionales hipotéticas llevarían energía del sistema donde se originan. Se han observado pérdidas de energía, del orden de magnitud previsto, en el 'desgaste' de las órbitas de los dos componentes de PSR 1913+16; este objeto celeste se compone de dos estrellas de neutrones que giran una en torno a la otra. En 1993 se concedió el Premio Nobel de Física a los estadounidenses Russell A. Hulse y Joseph H. Taylor, de la Universidad de Princeton, por este trabajo y por el descubrimiento de púlsares binarios.

Una observación más directa de las ondas gravitacionales proporcionaría una confirmación más profunda y detallada de la relatividad, y también abriría un nuevo campo en astronomía

al proporcionar nueva información sobre el colapso de las estrellas, la interacción de los agujeros negros y la velocidad de expansión del Universo. Sin embargo, la detección de estas ondas es uno de los mayores retos de la actual física experimental. La detección se basa en observar tensiones en el espacio, cambios extremadamente pequeños en la distancia entre objetos materiales provocados por las ondas.

En la mayoría de las situaciones, estos movimientos son mayores cuando las distancias totales también son mayores. El análisis teórico sugiere que los detectores tendrían que ser sensibles a tensiones del orden de 10–21 a 10–22. Esta relación equivale a un cambio de aproximadamente el diámetro de un átomo, o menos, en la distancia de la Tierra al Sol. Esta variación puede producirse en una escala temporal que va de milisegundos a horas, según el tipo de fuente que se quiera detectar. El diseño de cualquier detector depende de la escala temporal de las señales que debe buscar. Se están desarrollando varios experimentos para la detección de ondas gravitacionales. Algunos se basan en observar las oscilaciones inducidas por las ondas gravitacionales en barras de aluminio de varias toneladas de peso y enfriadas a temperaturas por debajo de 1 kelvin. El primero en emplear esta técnica, a finales de la década de 1960, fue Joseph Weber, de la Universidad de Maryland, Estados Unidos.

Sin embargo, las técnicas más prometedoras para fabricar detectores muy sensibles consisten en colgar masas de unas decenas de kilos en péndulos situados a varios kilómetros de distancia sobre la superficie terrestre y emplear interferómetros láser para medir sus movimientos, o realizar medidas entre satélites artificiales libres de rozamiento separados por varios millones de kilómetros, en órbitas suficientemente altas para no estar sometidos a los efectos de la atmósfera terrestre. En estos casos, los dos objetos de referencia se colocan formando dos trayectorias en ángulo y se miden los cambios en la longitud relativa de ambas trayectorias o brazos.

En Estados Unidos se están construyendo dos sistemas de detectores, cada uno con brazos de 4 Km. de longitud, como parte del proyecto LIGO; el primero está en el estado de Washington, y el segundo en Luisiana. En Europa, el interferómetro italofrancés VIRGO, con brazos de 3 Km. de longitud, se está construyendo cerca de Pisa, en el norte de Italia. Científicos alemanes y británicos están colaborando en la construcción del GEO 600, un interferómetro más corto con brazos de 600 m y diseño tecnológico avanzado situado cerca de Hannover, en el noroeste de Alemania. En Japón se está construyendo un detector con brazos algo más cortos. Se prevé que estos detectores sean operativos hacia finales de siglo, y que las observaciones realizadas en colaboración permitan la primera detección directa de ondas gravitacionales. También se están desarrollando planes para realizar detectores con líneas de referencia de gran longitud.

Debido a los efectos de fluctuaciones gravitatorias locales, los detectores de ondas gravitacionales situados en la Tierra sólo podrán buscar señales por encima de un hercio (1 hercio, o Hz, corresponde a un ciclo por segundo). Esto permite buscar colapsos estelares, la fusión de estrellas de neutrones en sistemas binarios y señales de púlsares, ya sean aislados o en sistemas binarios. Sin embargo, existen numerosas fuentes de frecuencia mucho menor, que van desde los sistemas estelares binarios hasta los agujeros negros

masivos que interaccionan entre sí o con la materia ordinaria, y es muy importante explorar el régimen de bajas frecuencias. Para hacerlo posible, la Agencia Espacial Europea está planteándose lanzar, hacia el año 2015, el LISA, un sistema espacial que emplea satélites y un detector interferométrico láser, con longitudes de brazo de 5 millones de kilómetros.

Luz:

Forma de radiación electromagnética similar al calor radiante, las ondas de radio o los rayos X. La luz corresponde a oscilaciones extremadamente rápidas de un campo electromagnético, en un rango determinado de frecuencias que pueden ser detectadas por el ojo humano. Las diferentes sensaciones de color corresponden a luz que vibra con distintas frecuencias, que van desde aproximadamente 4 × 1014 vibraciones por segundo en la luz roja hasta aproximadamente 7,5 × 1014 vibraciones por segundo en la luz violeta.

El espectro de la luz visible suele definirse por su longitud de onda, que es más pequeña en el violeta (unas 40 millonésimas de centímetro) y máxima en el rojo (75 millonésimas de centímetro). Las frecuencias mayores, que corresponden a longitudes de onda más cortas, incluyen la radiación ultravioleta, y las frecuencias aún más elevadas están asociadas con los rayos X. Las frecuencias menores, con longitudes de onda más altas, se denominan rayos infrarrojos, y las frecuencias todavía más bajas son características de las ondas de radio. La mayoría de la luz procede de electrones que vibran a esas frecuencias al ser calentados a una temperatura elevada. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la frecuencia de vibración y más azul es la luz producida.

Naturaleza de la luz:

La luz es emitida por sus fuentes en línea recta, y se difunde en una superficie cada vez mayor a medida que avanza; la luz por unidad de área disminuye según el cuadrado de la distancia. Cuando la luz incide sobre un objeto, es absorbida o reflejada; la luz reflejada por una superficie rugosa se difunde en todas direcciones. Algunas frecuencias se reflejan más que otras, y esto da a los objetos su color característico. Las superficies blancas difunden por igual todas las longitudes de onda, y las superficies negras absorben casi toda la luz. Por otra parte, para que la reflexión forme imágenes es necesaria una superficie muy pulida, como la de un espejo.

La definición de la naturaleza de la luz siempre ha sido un problema fundamental de la física. El matemático y físico británico Isaac Newton describió la luz como una emisión de partículas, y el astrónomo, matemático y físico holandés Christiaan Huygens desarrolló la teoría de que la luz se desplaza con un movimiento ondulatorio. En la actualidad se cree que estas dos teorías son complementarias, y el desarrollo de la teoría cuántica ha llevado al reconocimiento de que en algunos experimentos la luz se comporta como una corriente de partículas y en otros como una onda. En las situaciones en que la luz presenta movimiento ondulatorio, la onda vibra perpendicular a la dirección de propagación; por eso, la luz puede polarizarse en dos ondas perpendiculares entre sí.

Difracción e interferencia de la luz:

Cuando la luz pasa a través de una rendija cuyo tamaño es próximo a la longitud de onda de la luz, esta se difracta, se produce un cambio en la forma de la onda. Cuando la luz pasa a través de dos rendijas, las ondas procedentes de una rendija interfieren con las ondas que vienen de la otra. La interferencia constructiva tiene lugar cuando las ondas llegan en fase, es decir, cuando las crestas (o los valles) de una onda coinciden con las crestas (o los valles) de la otra onda, formando una onda con una cresta (o un valle) mayor. La interferencia destructiva se produce cuando las ondas llegan en oposición de fase, es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra onda, cancelándose mutuamente para producir una onda más pequeña o no producir onda alguna.

Velocidad:

El primero en medir la velocidad de la luz en un experimento de laboratorio fue el físico francés Armand Hippolyte Louis Fizeau, aunque observaciones astronómicas anteriores habían proporcionado una velocidad aproximadamente correcta.

En la actualidad, la velocidad de la luz en el vacío se toma como 299.792.458 m/s, y este valor se emplea para medir grandes distancias a partir del tiempo que emplea un pulso de luz o de ondas de radio para alcanzar un objetivo y volver. Este es el principio del radar.

El conocimiento preciso de la velocidad y la longitud de onda de la luz también permite una medida precisa de las longitudes. De hecho, el metro se define en la actualidad como la longitud recorrida por la luz en el vacío en un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 segundos. La velocidad de la luz en el aire es ligeramente distinta según la longitud de onda, y en promedio es un 3% menor que en el vacío; en el agua es aproximadamente un 25% menor, y en el vidrio ordinario un 33% menor.

La luz tiene un efecto importante en muchos compuestos químicos. Las plantas, por ejemplo, emplean la luz solar para llevar a cabo la fotosíntesis, y la exposición a la luz de determinados compuestos de plata hace que se oscurezcan en presencia de otros compuestos químicos, característica empleada en la fotografía.

Rayos X:

Radiación electromagnética penetrante, con una longitud de onda menor que la luz visible, producida bombardeando un blanco, generalmente de volframio, con electrones de alta velocidad. Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. A pesar de que el tubo estaba dentro de una caja de cartón negro, Roentgen vio que una pantalla de platino cianuro de bario, que casualmente estaba cerca, emitía luz fluorescente siempre que funcionaba el tubo. Tras realizar experimentos adicionales, determinó que la fluorescencia se debía a una radiación invisible más penetrante que la radiación ultravioleta (véase Luminiscencia). Roentgen llamó a los rayos invisibles "rayos X" por su naturaleza desconocida. Posteriormente, los rayos X fueron también denominados rayos Roentgen en su honor.

Naturaleza de los rayos X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10–9 m). Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayor es su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda,que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con esta, se denominan rayos X duros.

Los rayos X formados por una mezcla de muchas longitudes de onda diferentes se conocen como rayos X 'blancos', para diferenciarlos de los rayos X monocromáticos, que tienen una única longitud de onda. Tanto la luz visible como los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a transiciones de electrones internos. En el caso de la radiación de frenado o bremsstrahlung (ver más adelante), los rayos X se producen por el frenado o deflección de electrones libres que atraviesan un campo eléctrico intenso. Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados.

Radio:

Sistema de comunicación mediante ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio. Debido a sus características variables, se utilizan ondas radiofónicas de diferente longitud para distintos fines; por lo general, se identifican mediante su frecuencia. Las ondas más cortas poseen una frecuencia (número de ciclos por segundo) más alta; las ondas más largas tienen una frecuencia más baja (menos ciclos por segundo).

El nombre del pionero alemán de la radio Heinrich Hertz ha servido para bautizar al ciclo por segundo (hertz, hercio o hertzio, Hz). Un kilohercio (Khz.) es 1.000 ciclos por segundo, 1 megahercio (MHz) es 1 millón de ciclos por segundo y 1 gigahercio (GHz) es 1 billón de ciclos por segundo. Las ondas de radio van desde algunos kilohercios a varios gigahercios. Las ondas de luz visible son mucho más cortas. En el vacío, toda radiación electromagnética se desplaza en forma de ondas a una velocidad uniforme de 300.000 kilómetros por segundo.

Las ondas de radio se utilizan no sólo en la radiodifusión, sino también en la telegrafía inalámbrica, la transmisión por teléfono, la televisión, el radar, los sistemas de navegación y la comunicación espacial. En la atmósfera, las características físicas del aire ocasionan pequeñas variaciones en el movimiento ondulatorio, que originan errores en los sistemas de comunicación radiofónica como el radar. Además, las tormentas o las perturbaciones eléctricas provocan fenómenos anormales en la propagación de las ondas de radio.

Las ondas electromagnéticas dentro de una atmósfera uniforme se desplazan en línea recta, y como la superficie terrestre es prácticamente esférica, la comunicación radiofónica a larga distancia es posible gracias a la reflexión de las ondas de radio en la ionosfera. Las ondas radiofónicas de longitud inferior a unos 10 m, que reciben los nombres de frecuencias muy altas, ultraelevada y superelevada (VHF, UHF y SHF), no se reflejan en la ionosfera; así, en la práctica, estas ondas muy cortas sólo se captan a distancia visual. Las longitudes de onda inferiores a unos pocos centímetros son absorbidas por las gotas de agua o por las nubes;

las inferiores a 1,5 cm pueden quedar absorbidas por el vapor de agua existente en la atmósfera limpia.

Frecuencia:

Término empleado en física para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. La frecuencia es muy importante en muchas áreas de la física, como la mecánica o el estudio de las ondas de sonido.

Las frecuencias de los objetos oscilantes abarcan una amplísima gama de valores. Los temblores de los terremotos pueden tener una frecuencia inferior a 1, mientras que las veloces oscilaciones electromagnéticas de los rayos gamma pueden tener frecuencias de 1020 o más. En casi todas las formas de vibración mecánica existe una relación entre la frecuencia y las dimensiones físicas del objeto que vibra. Por ejemplo, el tiempo que necesita un péndulo para realizar una oscilación completa depende en parte de la longitud del péndulo; la frecuencia de vibración de la cuerda de un instrumento musical está determinada en parte por la longitud de la cuerda. En general, cuanto más corto es el objeto, mayor es la frecuencia de vibración.

En todas las clases de movimiento ondulatorio, la frecuencia de la onda suele darse indicando el número de crestas de onda que pasan por un punto determinado cada segundo. La velocidad de la onda y su frecuencia y longitud de onda están relacionadas entre sí. La longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas) es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad. En términos matemáticos, esta relación se expresa por la ecuación v = l f, donde v es la velocidad, f es la frecuencia y l (la letra griega lambda) es la longitud de onda. A partir de esta ecuación puede hallarse cualquiera de las tres cantidades si se conocen las otras dos.

La frecuencia se expresa en hercios (Hz); una frecuencia de 1 Hz significa que existe un ciclo u oscilación por segundo. La unidad se llama así en honor del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, el primero en demostrar la naturaleza de la propagación de las ondas electromagnéticas. Las unidades como kilohercios (Khz.)—miles de ciclos por segundo—, megahercios (MHz)—millones de ciclos por segundo—y gigahercios (GHz)—miles de millones de ciclos por segundo—se usan para describir fenómenos de alta frecuencia como las ondas de radio. Estas ondas y otros tipos de radiación electromagnética pueden caracterizarse por sus longitudes de onda o por sus frecuencias. Las ondas electromagnéticas de frecuencias extremadamente elevadas, como la luz o los rayos X, suelen describirse mediante sus longitudes de onda, que frecuentemente se expresan en nanómetros (un nanómetro, abreviado nm, es una milmillonésima de metro).

Una onda electromagnética con una longitud de onda de 1 nm tiene una frecuencia de aproximadamente 300 millones de GHz.

Frecuencia modulada (FM), sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida. El primer sistema operativo de comunicación radiofónica fue descrito por el inventor norteamericano Edwin H. Armstrong en 1936.

Percibimos la frecuencia de los sonidos como tonos más graves o más agudos. La frecuencia es el número de ciclos (oscilaciones) que una onda sonora efectúa en un tiempo dado; se mide en hercios (ciclos por segundo). En este ejemplo escuchamos una misma nota (la) a diferentes frecuencias, de 110,00 a 880,00 hercios (Hz). Los seres humanos sólo podemos percibir el sonido en un rango de frecuencias relativamente reducido, aproximadamente entre 20 y 20.000 hercios.

Modulación de radio:

Las ondas de frecuencia de audio hay que mezclarlas con ondas portadoras para poder ser emitidas por la radio. Es necesario modificar la frecuencia (ritmo de oscilación) o la amplitud (altura) mediante un proceso denominado modulación. Estos dos procesos explican la existencia de los dos tipos de estaciones AM o FM en la radio. Las señales son totalmente diferentes, por lo que no pueden recibirse simultáneamente.

La ecuación de onda:

El movimiento ondulatorio puede expresarse en forma matemática mediante una ecuación que describa un movimiento vibratorio avanzando por un medio. Para ello es preciso partir de la ecuación que define la oscilación del foco u origen de la perturbación. Si el movimiento es armónico simple, su ecuación correspondiente será:

Y = A · sen peso

Y = A · sen (2pft)

Donde la elongación se representa, en este caso, por la letra **Y**, pues en ondas transversales, como sucede en las cuerdas, equivale a una altura.

Dado que la perturbación avanza a una velocidad **v**, al recorrer una distancia **r** eso significa que el estado de perturbación de cualquier punto **P** situado a una distancia **r** del foco O coincidirá con el que tenía el foco **t**′ segundos antes. Se trata de un tiempo de retardo que indica en cuánto se ha retrasado la perturbación al llegar a **P** respecto del foco.

Por tanto, si en la ecuación de la elongación que describe la situación del foco se cambia **t** por **t-t′** se obtiene una ecuación que describe el estado de perturbación del punto **P.**

Dado que **t** y **r** hacen referencia a instantes y distancias genéricos respecto del foco O, la anterior ecuación describe el estado de perturbación del medio, medido por la altura **Y** en cualquier punto y en cualquier instante, lo que constituye una buena descripción matemática de una onda armónica.

El argumento de la función seno correspondiente puede expresarse también en la forma dado que **w= 2p/T y v = l/T**; lo cual permite escribir la ecuación de ondas en función de sus parámetros o constantes características, tales como la amplitud A, el periodo T y la longitud l.

La ecuación de onda recibe también el nombre de función de onda y puede referirse a una perturbación genérica que no consista precisamente en una altura, si se sustituye por la letra

griega **Y** que designa la magnitud de la perturbación. En tal caso, la función de onda toma la forma en donde **Y** puede representar la alteración, con el tiempo, de propiedades físicas tan diversas como una densidad, una presión, un campo eléctrico o un campo magnético, por ejemplo, y su propagación por el espacio.

Comportamiento de las ondas:

La velocidad de una onda en la materia depende de la elasticidad y densidad del medio. En una onda transversal a lo largo de una cuerda tensa, por ejemplo, la velocidad depende de la tensión de la cuerda y de su densidad lineal o masa por unidad de longitud. La velocidad puede duplicarse cuadruplicando la tensión, o reducirse a la mitad cuadruplicando la densidad lineal. La velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío (entre ellas la luz) es constante y su valor es de aproximadamente 300.000. km/s. Al atravesar un medio material, esta velocidad varía sin superar nunca su valor en el vacío. Cuando dos ondas se encuentran en un punto, el desplazamiento resultante en ese punto es la suma de los desplazamientos individuales producidos por cada una de las ondas. Si los desplazamientos van en el mismo sentido, ambas ondas se refuerzan; si van en sentido opuesto, se debilitan mutuamente. Este fenómeno se conoce como interferencia.

Cuando dos ondas de igual amplitud, longitud de onda y velocidad avanzan en sentido opuesto a través de un medio se forman ondas estacionarias. Por ejemplo, si se ata a una pared el extremo de una cuerda y se agita el otro extremo hacia arriba y hacia abajo, las ondas se reflejan en la pared y vuelven en sentido inverso.

Si suponemos que la reflexión es perfectamente eficiente, la onda reflejada estará media longitud de onda retrasada con respecto a la onda inicial. Se producirá interferencia entre ambas ondas y el desplazamiento resultante en cualquier punto y momento será la suma de los desplazamientos correspondientes a la onda incidente y la onda reflejada.

En los puntos en los que una cresta de la onda incidente coincide con un valle de la reflejada, no existe movimiento; estos puntos se denominan nodos. A mitad de camino entre dos nodos, las dos ondas están en fase, es decir, las crestas coinciden con crestas y los valles con valles; en esos puntos, la amplitud de la onda resultante es dos veces mayor que la de la onda incidente; por tanto, la cuerda queda dividida por los nodos en secciones de una longitud de onda. Entre los nodos (que no avanzan a través de la cuerda), la cuerda vibra transversalmente.

Las ondas estacionarias aparecen también en las cuerdas de los instrumentos musicales. Por ejemplo, una cuerda de violín vibra como un todo (con nodos en los extremos), por mitades (con un nodo adicional en el centro), por tercios… Todas estas vibraciones se producen de forma simultánea; la vibración de la cuerda como un todo produce el tono fundamental y las restantes vibraciones generan los diferentes armónicos. En mecánica cuántica, la estructura del átomo se explica por analogía con un sistema de ondas estacionarias. Gran parte de los avances de la física moderna se basan en elaboraciones de la teoría de las ondas y el movimiento ondulatorio.

Interferencia:

Efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud (intensidad o tamaño) de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas (posiciones relativas de crestas y valles) y amplitudes de las ondas iniciales; Por ejemplo, la interferencia constructiva se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia que se solapan o entrecruzan están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden.

En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forman una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales. La interferencia destructiva se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente. Cuando las ondas que se cruzan o solapan tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.

La luz visible está formada por ondas electromagnéticas que pueden interferir entre sí. La interferencia de ondas de luz causa, por ejemplo, las irisaciones que se ven a veces en las burbujas de jabón. La luz blanca está compuesta por ondas de luz de distintas longitudes de onda. Las ondas de luz reflejadas en la superficie interior de la burbuja

interfieren con las ondas de esa misma longitud reflejadas en la superficie exterior. En algunas de las longitudes de onda, la interferencia es constructiva, y en otras destructiva. Como las distintas longitudes de onda de la luz corresponden a diferentes colores, la luz reflejada por la burbuja de jabón aparece coloreada. El fenómeno de la interferencia entre ondas de luz visible se utiliza en holografía e interferometría (véase Holograma; Interferómetro).

La interferencia puede producirse con toda clase de ondas, no sólo ondas de luz. Las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona. Cuando se construye una sala de conciertos hay que tener en cuenta la interferencia entre ondas de sonido, para que una interferencia destructiva no haga que en algunas zonas de la sala no puedan oírse los sonidos emitidos desde el escenario. Arrojando objetos al agua estancada se puede observar la interferencia de ondas de agua, que es constructiva en algunos puntos y destructiva en otros.

La difracción:

Las ondas son capaces de traspasar orificios y bordear obstáculos interpuestos en su camino. Esta propiedad característica del comportamiento ondulatorio puede ser explicada como consecuencia del principio de Huygens y del fenómeno de interferencias.

Así, cuando una fuente de ondas alcanza una placa con un orificio o rendija central, cada punto de la porción del frente de ondas limitado por la rendija se convierte en foco emisor de ondas secundarias todas de idéntica frecuencia. Los focos secundarios que a los extremos de la abertura generan ondas que son las responsables de que el haz se abra tras la rendija y bordee sus esquinas. En los puntos intermedios se producen superposiciones de las ondas

secundarias que dan lugar a zonas de intensidad máxima y de intensidad mínima típicas de los fenómenos de interferencias.

Ambos fenómenos que caracterizan la difracción de las ondas dependen de la relación existente entre el tamaño de la rendija o del obstáculo y la longitud de onda. Así, una rendija cuya anchura sea del orden de la longitud de la onda considerada, será completamente bordeada por la onda incidente y, además, el patrón de interferencias se reducirá a una zona de máxima amplitud idéntica a un foco. Es como si mediante este procedimiento se hubiera seleccionado uno de los focos secundarios descritos por Huygens en el principio que lleva su nombre. temblores. En la isla de Hawái, los sismógrafos pueden registrar hasta mil pequeños sismos diarios antes de una erupción. Los seres humanos pueden inducir la aparición de terremotos cuando realizan determinadas actividades, por ejemplo, en el rellenado de nuevos embalses (presas), en la detonación subterránea de explosivos atómicos o en el bombeo de líquidos de las profundidades terrestres. Incluso se pueden producir temblores esporádicos debidos al colapso subterráneo de minas antiguas.

Radiación:

Proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas. Las ondas y las partículas tienen muchas características comunes; no obstante, la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas. La radiación mecánica corresponde a ondas que sólo se transmiten a través de la materia, como las ondas de sonido. La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Esta radiación abarca una gran variedad de energías. La radiación electromagnética con energía suficiente para provocar cambios en los átomos sobre los que incide se denomina radiación ionizante. La radiación de partículas también puede ser ionizante si tiene suficiente energía. Algunos ejemplos de radiación de partículas son los rayos cósmicos, los rayos alfa o los rayos beta. Los rayos cósmicos son chorros de núcleos cargados positivamente, en su mayoría núcleos de hidrógeno (protones). Los rayos cósmicos también pueden estar formados por electrones, rayos gamma, piones y muones. Los rayos alfa son chorros de núcleos de helio positivamente cargados, generalmente procedentes de materiales radiactivos. Los rayos beta son corrientes de electrones, también procedentes de fuentes radiactivas.

Radiación electromagnética:

Ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. La radiación electromagnética puede ordenarse en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas). La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Por orden decreciente de frecuencias (o creciente de longitudes de onda), el espectro electromagnético está compuesto por rayos gamma, rayos X duros y blandos, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio. Los rayos

gamma y los rayos X duros tienen una longitud de onda de entre 0,005 y 0,5 nanómetros (un nanómetro, o nm, es una millonésima de milímetro). Los rayos X blandos se solapan con la radiación ultravioleta en longitudes de onda próximas a los 50 nm. El ultravioleta, a su vez, da paso a la luz visible, que va aproximadamente desde 400 hasta 800 nm. Los rayos infrarrojos o "radiación de calor" (véase Transferencia de calor) se solapan con las frecuencias de radio de microondas, entre los 100.000 y 400.000 nm. Desde esta longitud de onda hasta unos 15.000 metros, el espectro está ocupado por las diferentes ondas de radio; más allá de la zona de radio, el espectro entra en las bajas frecuencias, cuyas longitudes de onda llegan a medirse en decenas de miles de kilómetros.

Propiedades:

Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad c = 299.792 km/s. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. Las longitudes de onda van desde mil centésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (l) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $l \cdot f = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

Teoría:

El físico británico James Clerk Maxwell estableció la teoría de las electromagnéticas en una serie de artículos publicados en la década de 1860. Maxwell analizó matemáticamente la teoría de los campos electromagnéticos y afirmó que la luz visible era una onda electromagnética.

Los físicos sabían desde principios del siglo XIX que la luz se propaga como una onda transversal (una onda en la que las vibraciones son perpendiculares a la dirección de avance del frente de ondas). Sin embargo, suponían que las ondas de luz requerían algún medio material para transmitirse, por lo que postulaban la existencia de una sustancia difusa, llamada éter, que constituía el medio no observable. La teoría de Maxwell hacía innecesaria esa suposición, pero el concepto de éter no se abandonó inmediatamente, porque encajaba con el concepto newtoniano de un marco absoluto de referencia espacio temporal. Un famoso experimento realizado por el físico estadounidense Albert Abraham Michelson y el químico de la misma nacionalidad Edward Williams Morley a finales del siglo XIX socavó el concepto del éter, y fue muy importante en el desarrollo de la teoría de la relatividad. De este trabajo concluyó que la velocidad de la radiación electromagnética en el vacío es una cantidad invariante, que no depende de la velocidad de la fuente de radiación o del observador.

Radiación ultravioleta:

Radiación electromagnética cuyas longitudes de onda van aproximadamente desde los 400 nm, el límite de la luz violeta, hasta los 15 nm, donde empiezan los rayos X. (Un nanómetro, o nm, es una millonésima de milímetro). La radiación ultravioleta puede producirse

artificialmente mediante lámparas de arco; la de origen natural proviene principalmente del Sol.

La radiación ultravioleta puede ser dañina para los seres vivos, sobre todo cuando su longitud de onda es baja. La radiación ultravioleta con longitudes de onda inferiores a 300 nm se emplea para esterilizar superficies porque mata a las bacterias y los virus. En los seres humanos, la exposición a radiación ultravioleta de longitudes de onda inferiores a los 310 nm puede producir quemaduras; una exposición prolongada durante varios años puede provocar cáncer de piel.

La atmósfera terrestre protege a los organismos vivos de la radiación ultravioleta del Sol. Si toda la radiación ultravioleta procedente del Sol llegara a la superficie de la Tierra, acabaría probablemente con la mayor parte de la vida en el planeta.

Afortunadamente, la capa de ozono de la atmósfera absorbe casi toda la radiación ultravioleta de baja longitud de onda y gran parte de la de alta longitud de onda. Sin embargo, la radiación ultravioleta no sólo tiene efectos perniciosos; gran parte de la vitamina D que las personas y los animales necesitan para mantenerse sanos se produce cuando la piel es irradiada por rayos ultravioleta.

Muchas sustancias se comportan de forma distinta cuando se las expone a luz ultravioleta que cuando se las expone a luz visible. Por ejemplo, algunos minerales, colorantes, vitaminas, aceites naturales y otros productos se vuelven fluorescentes en presencia de luz ultravioleta, es decir, parecen brillar. Las moléculas de esas sustancias absorben la radiación ultravioleta invisible, adquieren energía, y se desprenden del exceso de energía emitiendo luz visible. Véase Luminiscencia. Otro ejemplo es el vidrio de las ventanas, que es transparente a la luz visible pero opaco a una amplia gama de rayos ultravioleta, especialmente los de baja longitud de onda. Algunos vidrios especiales son transparentes para los rayos ultravioleta de mayor longitud de onda, y el cuarzo es transparente a toda la gama de rayos ultravioleta naturales.

Rayos infrarrojos:

Emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas en la zona del espectro situada inmediatamente después de la zona roja de la radiación visible. La longitud de onda de los rayos infrarrojos es menor que la de las ondas de radio y mayor que la de la luz visible. Oscila entre aproximadamente 10–6 y 10–3 metros. La radiación infrarroja puede detectarse como calor, para lo que se emplean instrumentos como el bolómetro. Los rayos infrarrojos se utilizan para obtener imágenes de objetos lejanos ocultos por la bruma atmosférica, que dispersa la luz visible pero no la radiación infrarroja. En astronomía se utilizan los rayos infrarrojos para estudiar determinadas estrellas y nebulosas. Para las fotografías infrarrojas de alta precisión se emplea un filtro opaco que solo deja pasar radiación infrarroja, pero generalmente basta un filtro corriente anaranjado o rojo claro, que absorbe la luz azul y violeta. La fotografía infrarroja, desarrollada hacia 1880, se ha convertido en la actualidad en una importante herramienta de diagnóstico en la medicina, la agricultura y la industria.

El uso de técnicas infrarrojas permite observar situaciones patológicas que no pueden verse a simple vista ni en una radiografía. La teledetección mediante fotografía infrarroja aérea y orbital se ha empleado para observar las condiciones de las cosechas y el daño por insectos y enfermedades en grandes zonas agrícolas, así como para localizar depósitos minerales. En la industria, la espectroscopia de infrarrojos es una parte cada vez más importante de la investigación de metales y aleaciones, y la fotografía infrarroja se emplea para regular la calidad de los productos.

Dispositivos infrarrojos como los empleados durante la II Guerra Mundial permiten ver objetos en la oscuridad. Estos instrumentos consisten básicamente en una lámpara que emite un haz de rayos infrarrojos, a veces denominados luz negra, y un telescopio que recibe la radiación reflejada por el objeto y la convierte en una imagen visible.

Microondas:

Ondas electromagnéticas de radio situadas entre los rayos infrarrojos (cuya frecuencia es mayor) y las ondas de radio convencionales. Su longitud de onda va aproximadamente entre 1 mm y 30 cm. Las microondas se generan con tubos de electrones especiales como el klistrón o el magnetrón, que incorporan resonadores para controlar la frecuencia, o con osciladores o dispositivos de estado sólido especiales. Las microondas tienen muchas aplicaciones: radio y televisión, radares, meteorología, comunicaciones vía satélite, medición de distancias, investigación de las propiedades de la materia o cocinado de alimentos.

Los hornos de microondas funcionan excitando las moléculas de agua de los alimentos, lo que hace que vibren y produzcan calor. Las microondas entran a través de aberturas practicadas en la parte superior de la cavidad de cocción, donde un agitador las dispersa de forma homogénea por todo el horno. Las microondas no pueden penetrar en un recipiente de metal para calentar la comida, pero sí atraviesan los recipientes no metálicos.

Las microondas pueden detectarse con un instrumento formado por un rectificador de diodos de silicio conectado a un amplificador y a un dispositivo de registro o una pantalla. La exposición a las microondas es peligrosa cuando se producen densidades elevadas de radiación, como ocurre en los máseres. Pueden provocar quemaduras, cataratas, daños en el sistema nervioso y esterilidad. Todavía no se conocen bien los posibles peligros de la exposición prolongada a microondas de bajo nivel.

Bibliografía:

1. *Resnick R, Halliday D, Krane KS. Física. Vol. 1. 5th ed. México: CECSA; 2003. 816 p.*
2. *Tipler PA, Mosca G. Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 1. 6th ed. Barcelona: Reverté; 2009. 1024 p.*
3. *Serway RA, Jewett JW. Física para ciencias e ingeniería. Vol. 1. 8th ed. México: Cengage Learning; 2013. 1180*
4. *Alonso M, Finn EJ. Física. Vol. 1. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana; 1995. 674 p.*
5. *Griffiths DJ. Introduction to Electrodynamics. 4th ed. London: Pearson; 2013. 624 p.*
6. *Hecht E. Optics. 4th ed. Boston: Addison-Wesley; 2002. 698 p.*

7. *Young HD, Freedman RA. University Physics with Modern Physics. 14th ed. Boston: Pearson; 2016. 1600 p.*
8. *Katz E. Introducción a la acústica. 2nd ed. Madrid: Paraninfo; 2000. 304 p.*
9. *Purcell EM, Morin D. Electricity and Magnetism. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 831 p.*
10. *Alonso M, Finn EJ. Física general. México: Addison-Wesley Iberoamericana; 1986. 923 p.*
11. *Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentals of Physics. 10th ed. Hoboken: Wiley; 2013. 1232 p.*

Xavier Pardell